

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA – PPGE

Normas brasileiras para avaliação de inversores com conexão à rede elétrica de distribuição.

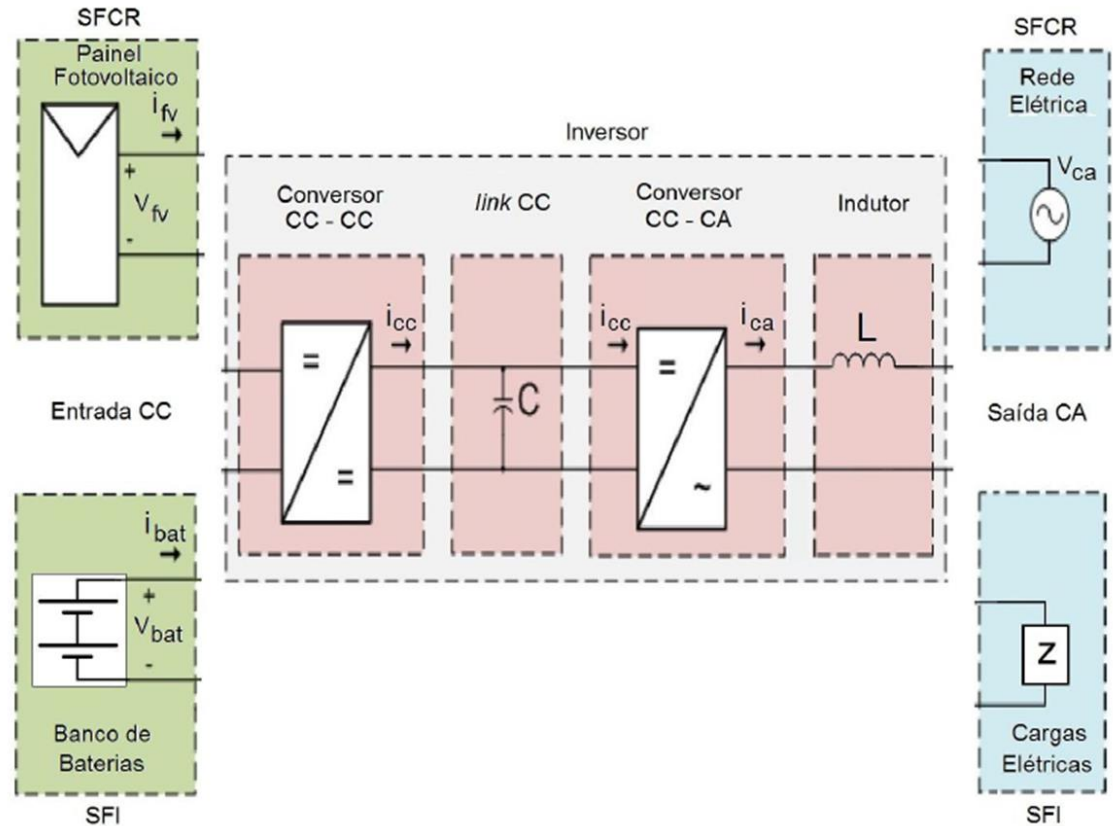
Apresentação das normas ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150 e ABNT NBR IEC 62116.

Jose Cesar de S. Almeida Neto

1. Inversores fotovoltaicos
2. Normas ABNT e Portaria 357
3. Ensaio de inversores

1. Inversores fotovoltaicos

- SFCR x SFI.



1. Inversores fotovoltaicos



2. Normas ABNT e Portaria 357

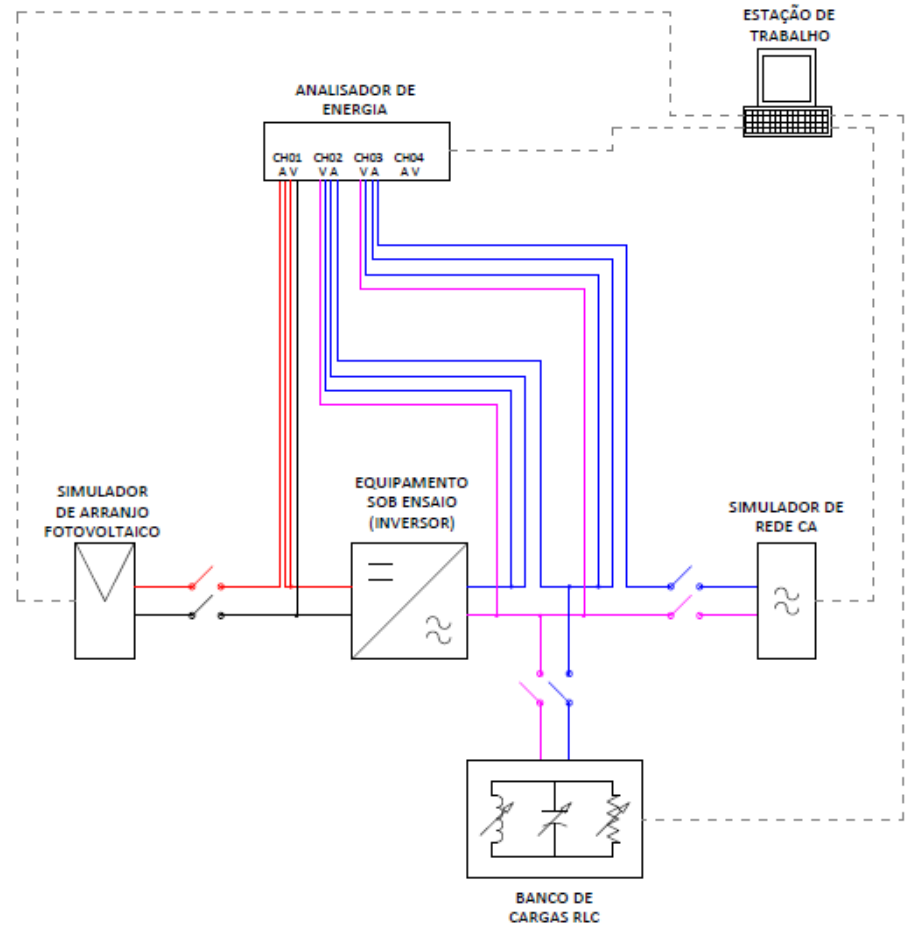
1. ABNT NBR 16149: características de interface de conexão de sistemas fotovoltaicos com a rede elétrica;
2. ABNT NBR 16150: procedimentos a serem adotados para a caracterização do inversor;
3. ABNT NBR IEC 62116: características e procedimentos para o teste da função de anti-ilhamento;
4. Portaria INMETRO 357 de 01 de agosto de 2014: regulamentação relativa aos inversores para conexão à rede.

Número	Teste	Item ABNT NBR 16149	Item ABNT NBR 16150	Item ABNT NBR IEC 62116	Portaria 357 - ANEXO III	Inversor aplicável
1	Cintilação	4.3	6.1	---	---	Todos
2	Injeção de componente continua	4.4	6.2	---	---	Todos
3	Harmônicos e distorção de forma de onda	4.6	6.3	---	---	Todos
4	Fator de potência	4.7 - 4.7.1	6.4 - 6.4.1	---	---	Todos
5	Injeção/ demanda de potência reativa	4.7 - 4.7.2	6.4 - 6.4.2	---	---	3 kW < Pnom ≤ 6kW
		4.7 - 4.7.2 - 4.7 - 4.7.3	6.4 - 6.4.2 - 6.5	---	---	Pnom > 6kW
6	Sobre/ sub tensão	5.2 - 5.2.1	6.6 - 6.6.1 - 6.6.2 - 6.6.3 - 6.6.4	---	---	Todos
7	Sobre/ sub frequência	5.2 - 5.2.2	6.7 - 6.7.1 - 6.7.2 - 6.7.3 - 6.7.4	---	---	Todos
8	Controle da potência ativa em sobrefrequência	5.2 - 5.2.2	6.8	---	---	Todos
9	Reconexão	5.4	6.9	---	---	Todos
10	Religamento automático fora de fase	5.8	6.10	---	---	Todos
11	Modulação de potência ativa	6 - 6.1	6.11	---	---	Pnom > 6kW
12	Modulação de potência reativa	6 - 6.2	6.12	---	---	Pnom > 6kW
13	Desconexão do sistema fotovoltaico da rede	6 - 6.3	6.13	---	---	Todos
14	Requisitos de suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas na rede	7	6.14	---	---	Pnom ≥ 6 kW
15	Proteção contra inversão de polaridade	---	---	---	Procedimentos de Ensaio 15	Todos
16	Sobrecarga	---	---	---	Procedimentos de Ensaio 16	Todos
17	Anti-ilhamento	---	---	6 - 6.1 - 6.2	---	Todos

Pnom: potência nominal do inversor

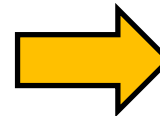
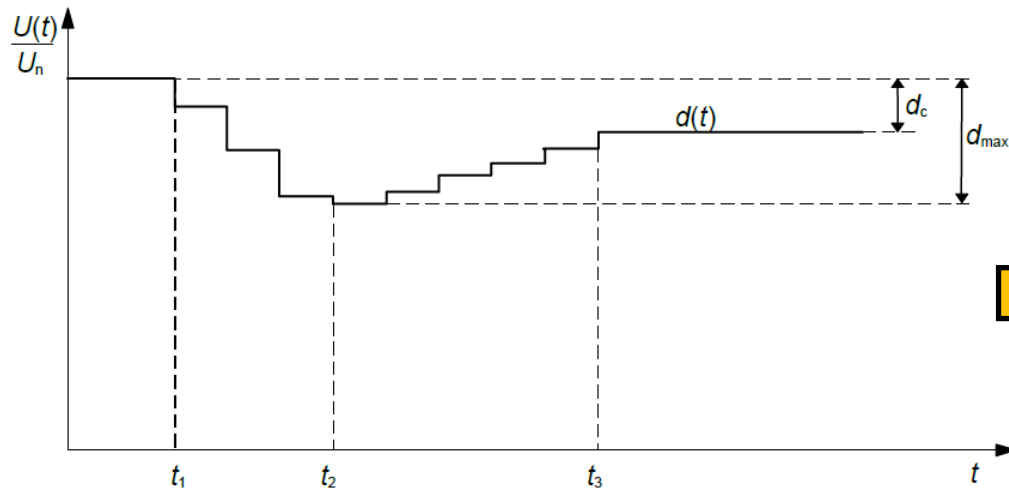
3. Ensaaios de inversores

- Simulador de arranjos fotovoltaicos;
- Simulador de rede c.a.;
- Banco de cargas RLC;
- Osciloscópio;
- Analisador de energia.



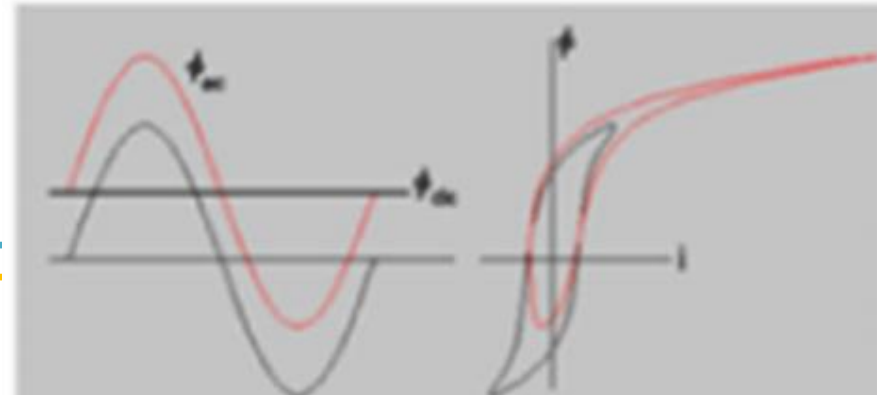
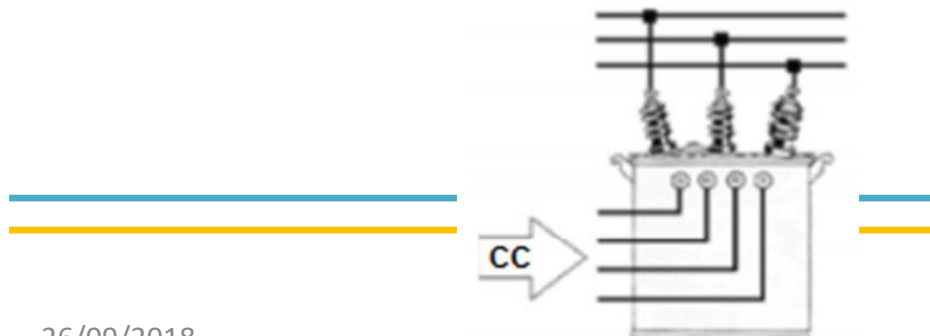
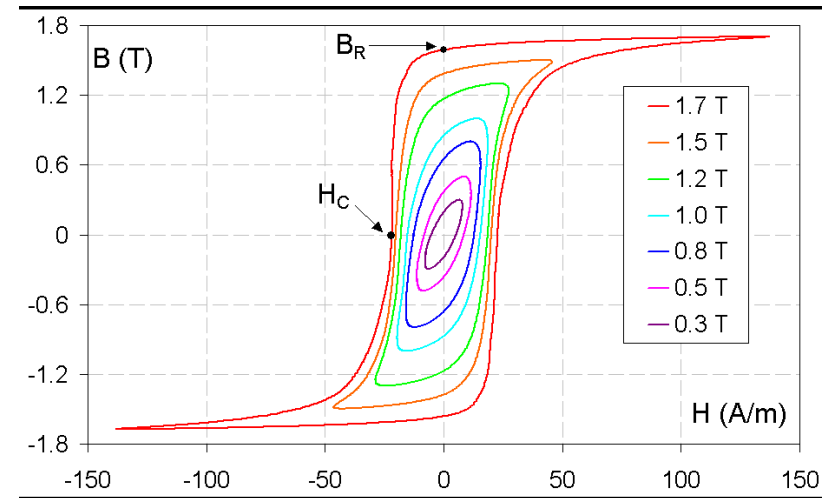
3. Ensaaios de inversores - Cintilação

- Avaliação da flutuação de tensão perceptível ao olho humano.



3. Ensaaios de inversores – Componente c.c.

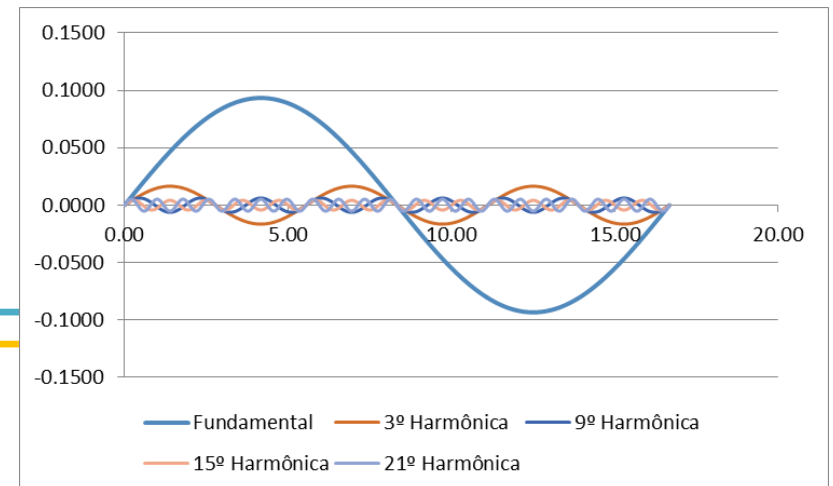
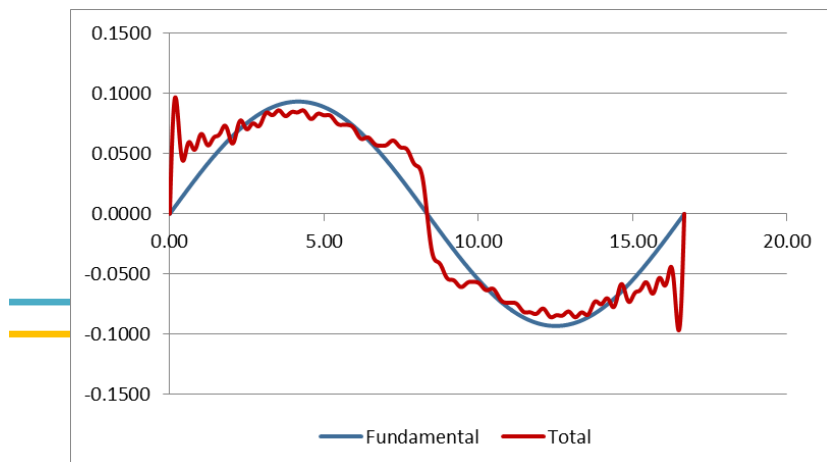
- Avaliação da injeção de corrente contínua na rede elétrica;
- Saturação assimétrica de transformadores.
- Valor exigido pela norma de 0,5 % da corrente fundamental



3. Ensaio de inversores – Harmônicos de corrente

- Avaliação da distorção da corrente injetada na rede pelo inversor;
- Valores de harmônicos de corrente menores que a tabela, THD < 5%
- Deformação da tensão de linha.

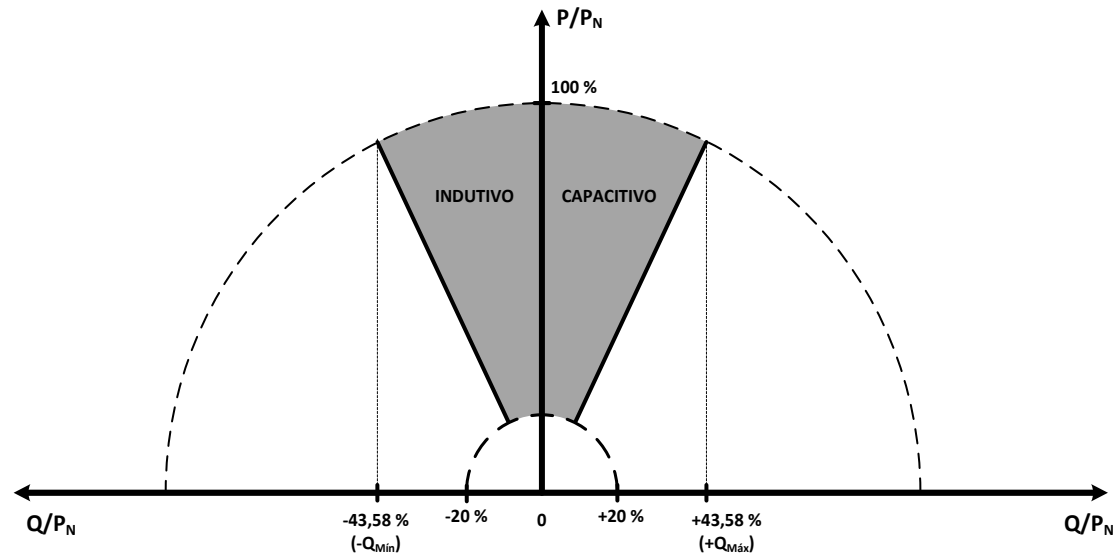
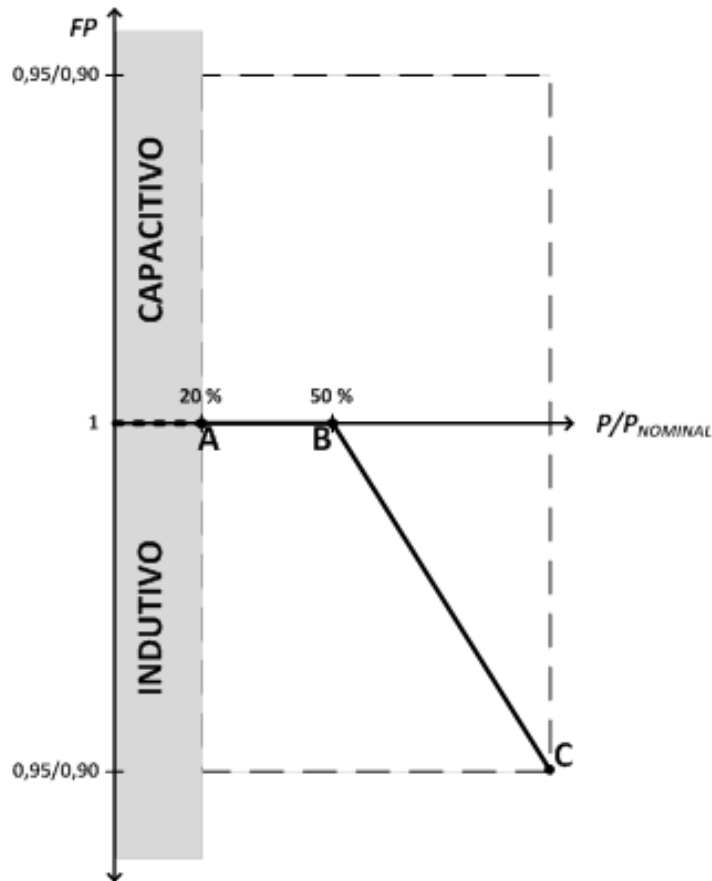
Critério	Limite
Injeção de componente c.c. na rede elétrica *	< 0,5 %
Distorção harmônica total	< 5,0 %
Harmônicos ímpares - 3º a 9º	< 4,0 %
Harmônicos ímpares - 11º a 15º	< 2,0 %
Harmônicos ímpares - 17º a 21º	< 1,5 %
Harmônicos ímpares - 23º a 33º	< 0,6 %
Harmônicos pares - 2º a 8º	< 1,0 %
Harmônicos pares - 10º a 32º	< 0,8 %



3. Ensaio de inversores – Fator de potência e injeção de reativos

- Avaliação do fator de potência unitário, em curva e injeção de reativos;
- Compensação de reativos na rede, auxílio na queda de tensão por diminuição da corrente de linha;
- Critério de avaliação por meio de curvas de FP.

3. Ensaio de inversores – Fator de potência e injeção de reativos

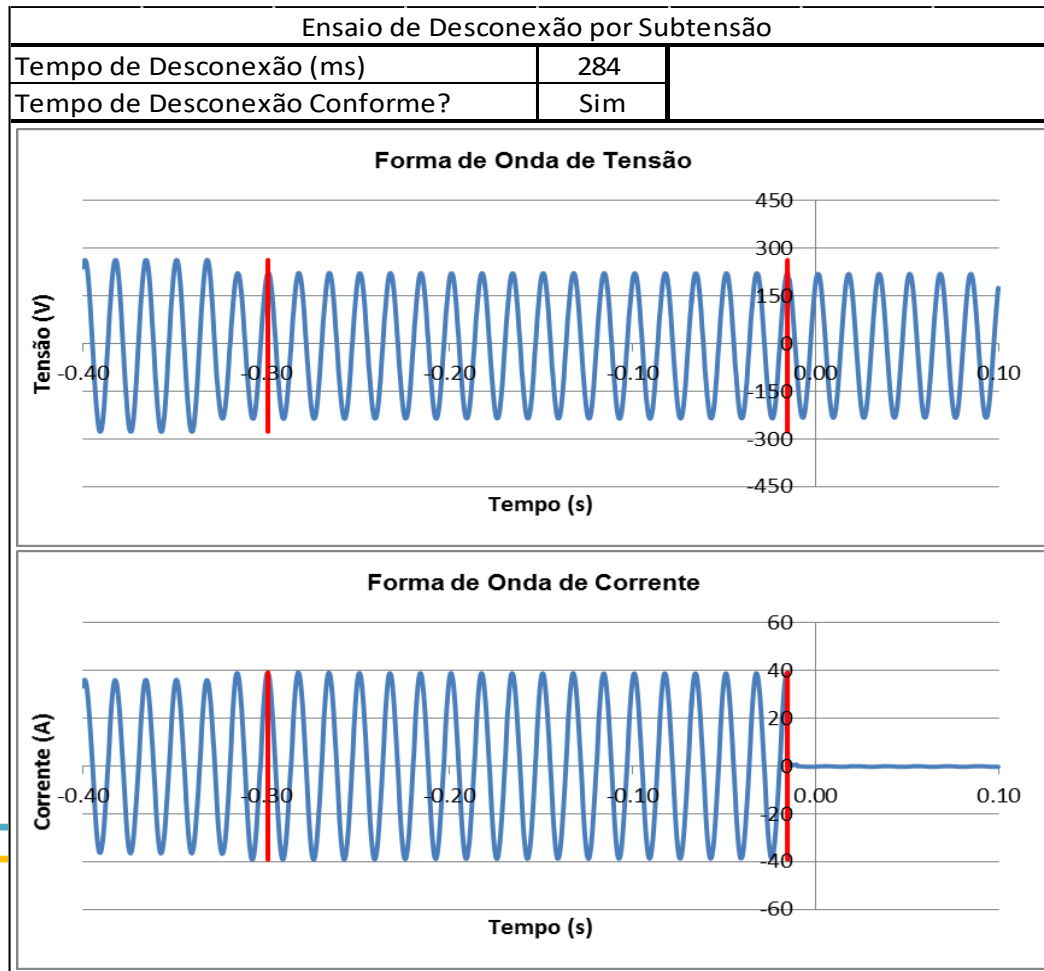


3. Ensaios de inversores – Sobre/subtensão e sobre/subfrequência

- Avaliação da identificação dos parâmetros anormais de rede e atuação;
- Desconexão para restauração das condições normais de rede;
- Critério de avaliação por valores limites e tempo de desligamento.

Tensão no ponto comum de conexão (% em relação à V_{nominal})	Tempo máximo de desligamento ^a
$V < 80 \%$	0,4 s
$80 \% \leq V \leq 110 \%$	Regime normal de operação
$110 \% < V$	0,2 s

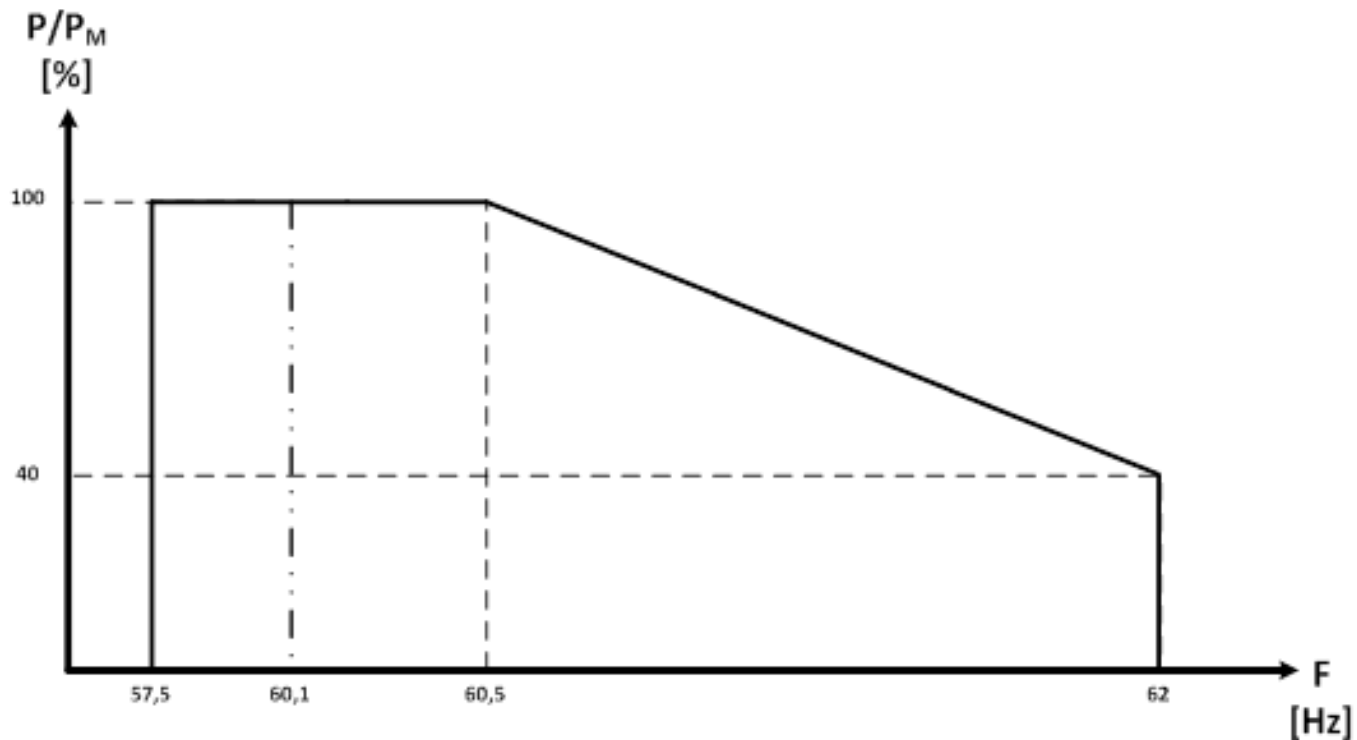
3. Ensaio de inversores – Sobre/subtensão e sobre/subfrequência



3. Ensaio de inversores – Controle de potência ativa em sobre frequência

- Avaliação da redução de potência em eventos de sobre frequência da rede elétrica;
- Auxílio como freio eletromagnético para máquinas girantes formadoras de rede.
- Critério de avaliação conforme curva e tempos de injeção de potência.
- Gradiente de injeção de potência menor do que 20 % P/min.

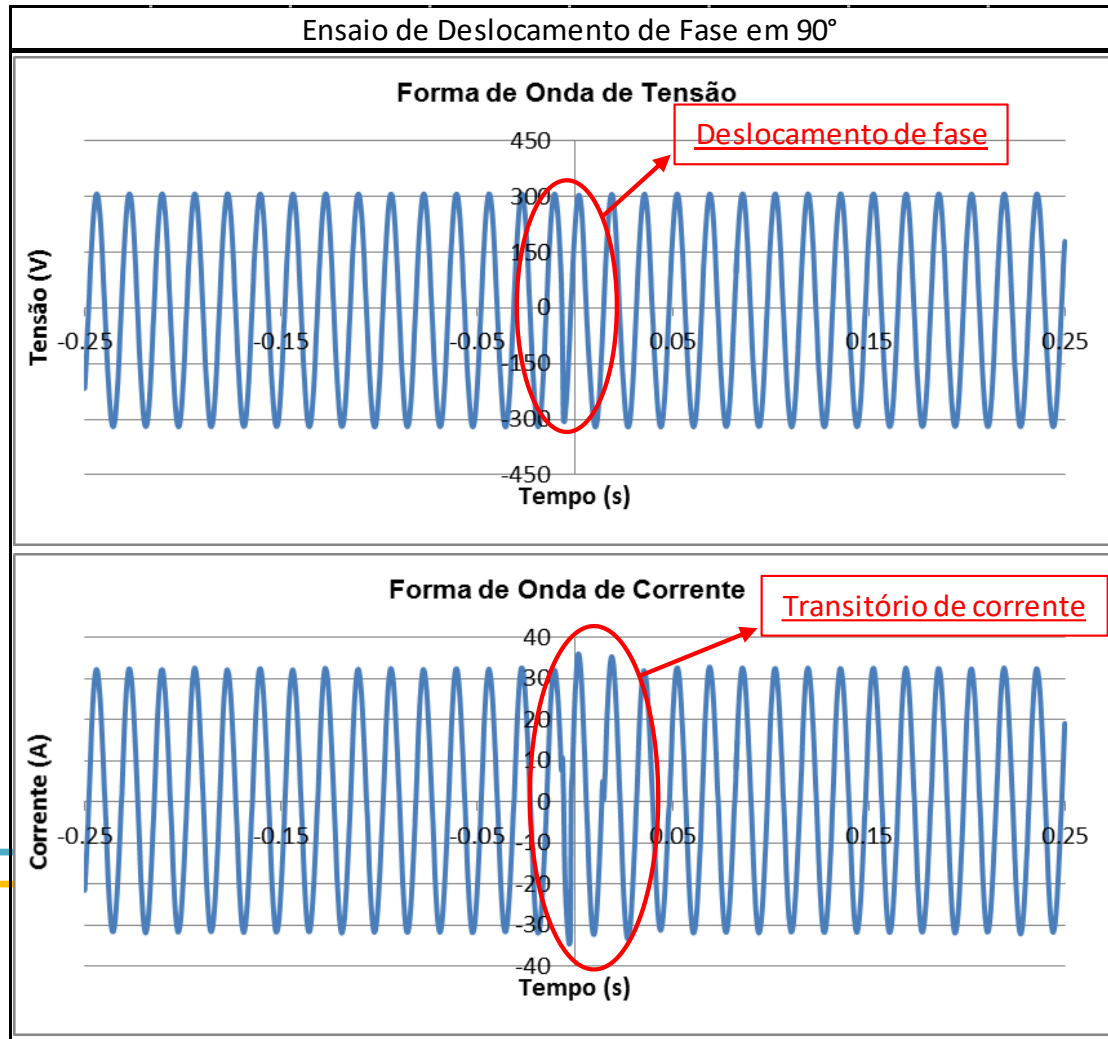
3. Ensaio de inversores – Controle de potência ativa em sobre frequência



3. Ensaio de inversores – Reconexão e Religamento automático fora de fase

- Avaliação do tempo de reconexão do inversor e se o mesmo suporta o religamento em oposição de fase da tensão;
- Parâmetros de suportabilidade do equipamento;
- Critério de avaliação em janela de tempo de reconexão (entre 20 s e 300 s).

3. Ensaio de inversores – Reconexão e Religamento automático fora de fase



3. Ensaio de inversores – Ensaio de telecomando

- Avaliação do controle remoto da geração por um operador do sistema;
- Comandos de limitação de potência ativa, injeção de potência reativa e conexão/desconexão do sistema;
- Critério de avaliação pelo tempo de atuação do inversor.

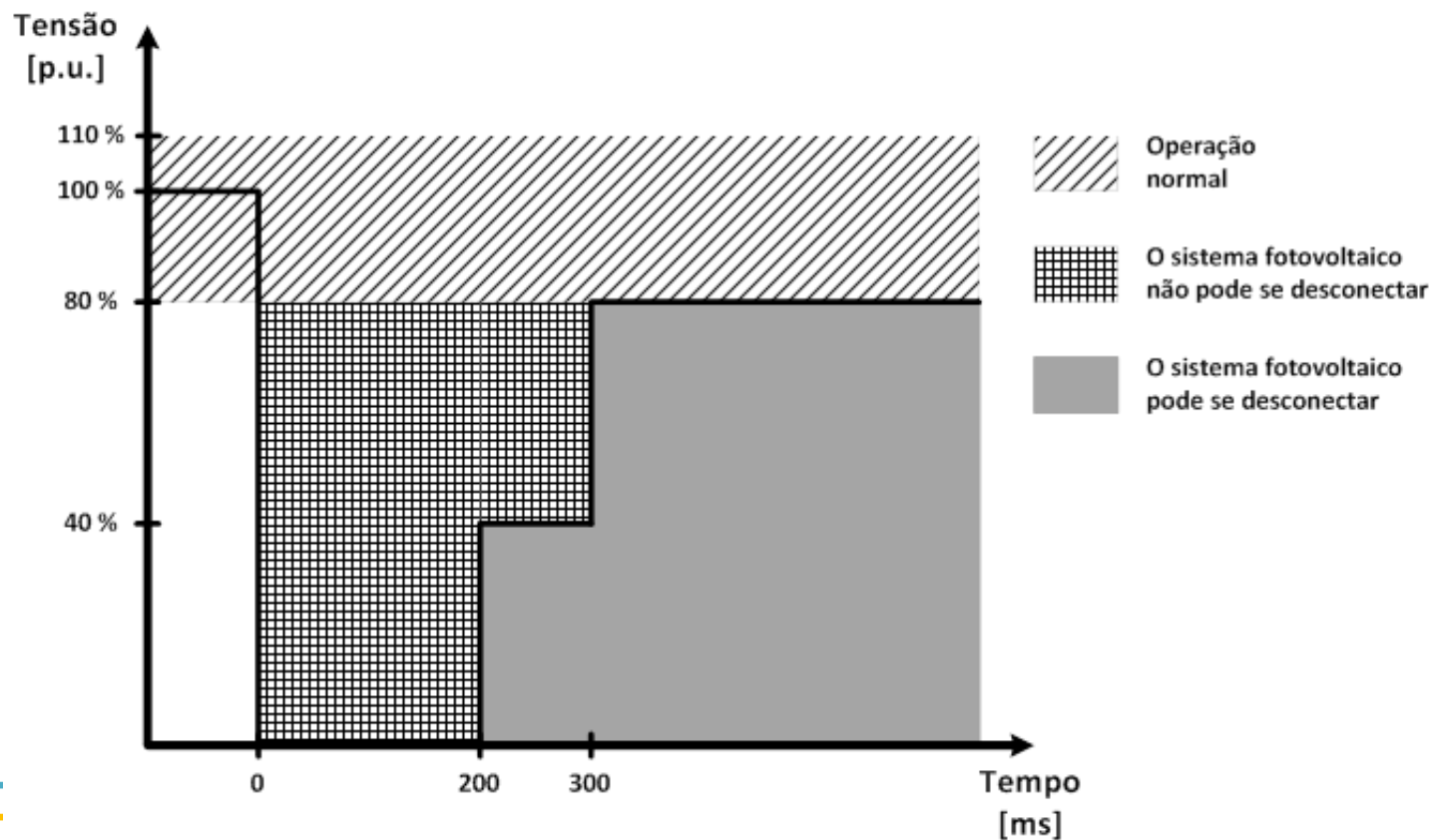


3. Ensaio de inversores – Suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas na rede (fault ride through - FRT)

- Avaliação da suportabilidade do sistema durante um sub-tensão causada na rede;
- Uso de religadores na rede para prevenir faltas rápidas pode causar uma situação de afundamento de tensão;
- Critério de avaliação pelo tempo de atuação do inversor.



3. Ensaio de inversores – Suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas na rede (fault ride through - FRT)



3. Ensaaios de inversores – Inversão de polaridade e Sobre carga

- Avaliação da proteção do inversor frente a problemas de instalação;
 - Suportabilidade a situações como sobredimensionamento de arranjos fotovoltaicos e inversão de polaridade dos conectores C.C.;
 - Critério de avaliação pela suportabilidade das condições avaliadas.
 - Ensaaios definidos no texto da portaria 357 e não nas normas
- ABNT.

3. Ensaaios de inversores – Anti-ilhamento

- Avaliação da proteção do inversor frente a falta prolongada na rede elétrica;
- Requisito de segurança para os operadores de rede para garantir que a rede não esteja energizada durante os serviços de reparo;
- Critério de avaliação pelo tempo de desligamento do inversor após um evento de falta da rede.
- 31 pontos de medição dos parâmetros de equilíbrio com a rede elétrica

Proteção Contra Ilhamento								
	Min	Máx						
Tensão de MPPT (V)	125	550						
Tensão CC Máxima (V)	580							
Potência Nominal (kW)	4.600							
	Condição A		Condição B		Condição C			
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx		
Pese (kW)	4.600	4.600	2.300	3.036	1.150	1.518		
Vcc (V)	430	464	265	324	125	159		
Nº	Pese (%)	QI (%)	Pca (%)	Qca (%)	Tempo de Permanência da Alimentação (ms)	Pese (kW)	Qf efetiva	Vcc (V)
1	100%	101%	0,1%	-0,6%	123	4.606	1,006	446
2	58%	58%	0,8%	1,0%	123	2.660	1,000	293
3	29%	29%	0,3%	-0,4%	141	1.341	0,988	141
4	100%	100%	-5,1%	-3,6%	207	4.599	1,000	446
5	100%	100%	-4,0%	0,6%	114	4.600	1,000	445
6	100%	100%	-4,8%	3,7%	156	4.597	1,000	445
7	100%	100%	-0,7%	-4,6%	93	4.596	1,005	445
8	100%	100%	0,7%	5,1%	162	4.597	1,005	445
9	100%	100%	3,8%	-4,3%	78	4.597	1,006	445
10	100%	101%	3,7%	-1,0%	123	4.593	1,010	445
11	100%	100%	4,4%	5,5%	96	4.593	1,006	445
12	58%	58%	0,4%	-4,9%	174	2.661	1,001	294
13	58%	58%	0,7%	-3,8%	192	2.661	1,000	294
14	58%	58%	0,5%	-1,9%	222	2.662	1,000	294
15	58%	58%	0,0%	-2,7%	117	2.662	1,000	294
16	58%	58%	0,5%	-2,0%	210	2.662	1,001	294
17	58%	58%	0,7%	0,8%	168	2.662	1,001	294
18	58%	58%	0,6%	0,5%	219	2.662	0,998	293
19	58%	58%	0,2%	3,7%	150	2.662	1,000	294
20	58%	58%	0,0%	3,6%	165	2.661	1,000	294
21	58%	59%	0,0%	5,5%	93	2.694	1,001	293
22	29%	29%	0,4%	-5,0%	162	1.339	0,987	141
23	29%	29%	-0,1%	-4,6%	120	1.339	0,988	141
24	29%	29%	0,1%	-3,1%	144	1.339	0,986	142
25	29%	29%	0,1%	-2,0%	165	1.339	0,987	141
26	28%	28%	0,2%	-1,4%	231	1.306	0,985	141
27	28%	28%	-0,3%	1,5%	273	1.306	0,984	141
28	28%	28%	0,1%	1,9%	138	1.307	0,986	141
29	28%	28%	0,1%	2,4%	174	1.307	0,986	141
30	28%	28%	0,1%	3,7%	228	1.307	0,984	141
31	28%	28%	0,1%	4,5%	264	1.306	0,985	141

Obrigado!

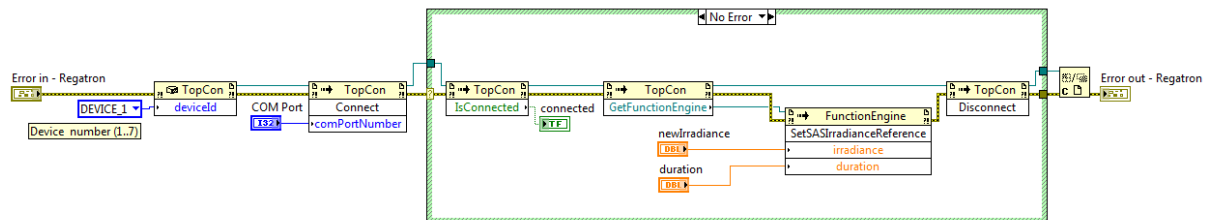
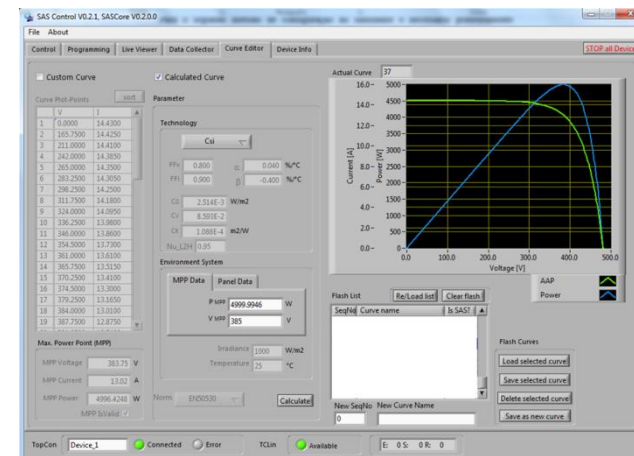
José Cesar de Souza Almeida Neto
cesar.almeida.eng@gmail.com

4. Equipamentos da bancada

Simulador fotovoltaico: Regatron



Entrada	
Tensão nominal (Vac)	400 V
Corrente nominal (Iac)	32 A
Frequência	60 Hz
Corrente de curto-circuito	10 kA
Saída	
Potência nominal (Pcc)	16 kW
Tensão máxima (Vcc)	1000 V
Corrente máxima (Icc)	20 A

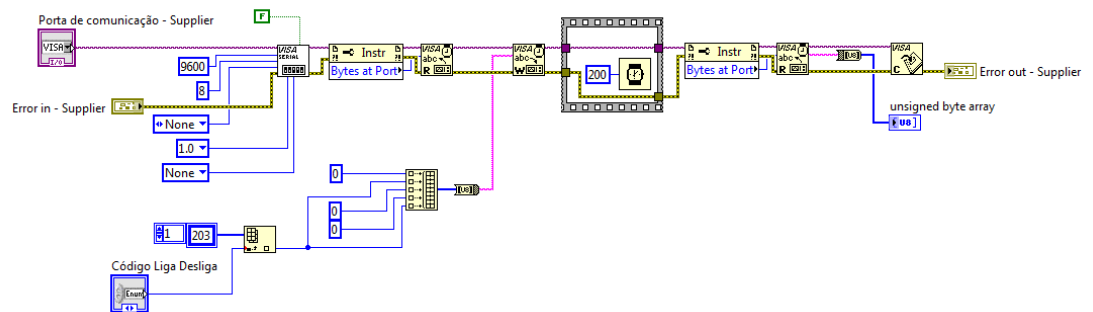
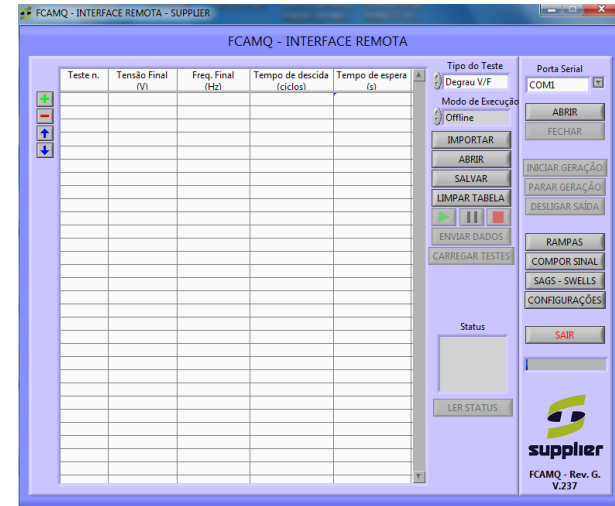


4. Equipamentos da bancada

Simulador de rede: Supplier



Entrada	
Tensão nominal (Vin)	220 V
Frequência (fin)	50/60 Hz
Saida	
Tensão de operação (Vout)	0-330 V
Corrente máxima (Iout)	68 A
Potência máxima (Pout)	15 kVA
Frequência (fout)	15-150 Hz

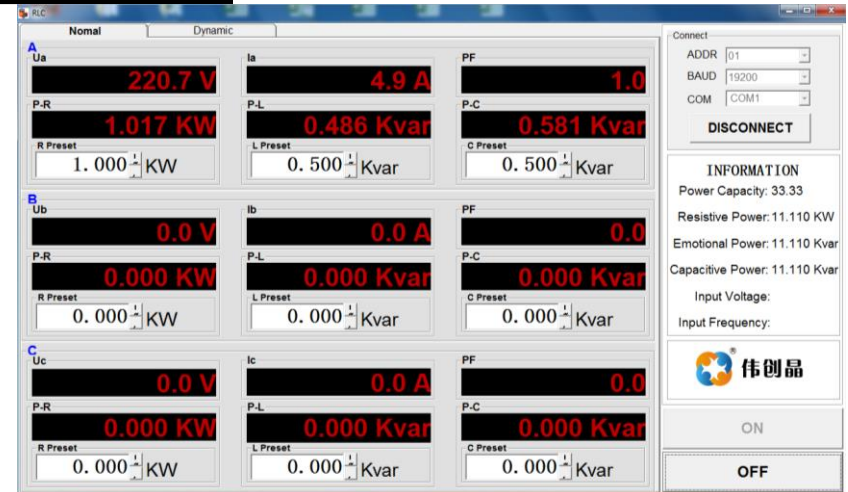


4. Equipamentos da bancada

Carga RLC: Parwa

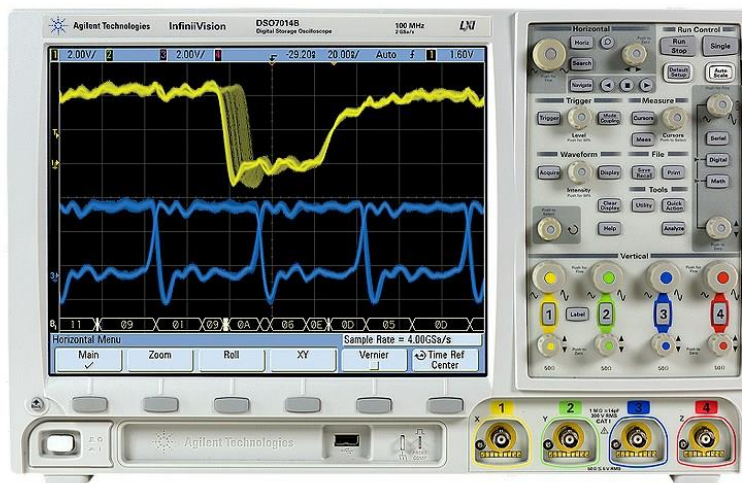


Entrada	
Tensão de entrada	220 V
Frequência	60 Hz
Potência ativa	10 kW
Potência reativa capacitiva	10 kVAr
Potência reativa indutiva	10 kVAr



4. Equipamentos da bancada

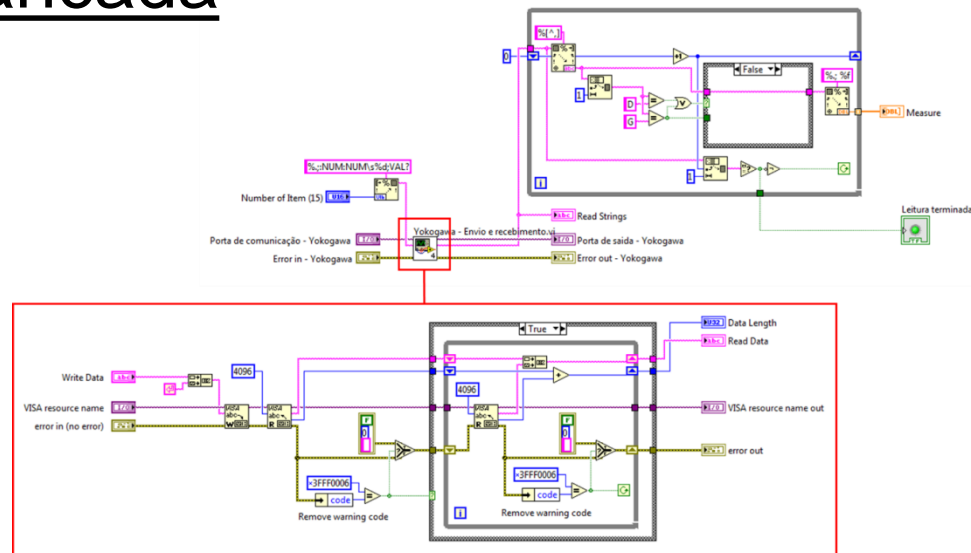
Osciloscópio: Agilent (Keysight)



Medida	Exatidão pela norma	Exatidão do equipamento
Cursor vertical	1% Vnom ou 1% Inom	2,4% Fe
Taxa de amostragem	10 kHz	100 MHz

4. Equipamentos da bancada

Analisador de Energia : Yokogawa



Medida	Exatidão pela norma	Exatidão do equipamento
Tensão	0,2 % Vnom	0,01 % Vmd + 0,03 % Vf
Corrente	1 % Inom	0,01 % lmd + 0,03 % lfe
Frequência	0,01 Hz	0,05 % fmed
Potência	0,5 % Pnom	0,02 % Pmd + 0,04 % Pfe
Fator de potência	0,5 %	0,02 %
Componente contínua de corrente	0,5 %	0,05 % lmd + 0,05 % lfe
Harmônicas de corrente*	5 % lmd ou 0,15 % Inom	2,5 % lmd + 0,05 % lfe **
Ângulo de fase da tensão	1°	0,01° ***